

光合成の生成酸素濃度の測定

— 酸素センサ，A/Dコンバータを用いて —

荒 木 勉

生物分野へコンピュータ計測を導入する目的で，A/Dコンバータの搭載された計測ボードNADVと市販の酸素センサを組み合わせ，光合成の生成酸素濃度を測定した。また，NADVは，各種センサと組み合わせることで，広範な生物現象の計測に利用可能であることがわかった。

I はじめに

新指導要領では，理科においてコンピュータの適宜使用を謳っている。生物分野においては，生物I B，IIで情報の検索，結果の集計・処理などに適宜コンピュータを使用することが求められているが，当県の学校現場では市販のシミュレーションソフトの活用や，個人的にKiT¹⁾²⁾やFCAIによる自作ソフトの活用例がほとんどである。その他，計測ボードを用いた実践報告に至っては，本間³⁾⁴⁾による人と動物の声の波形分析の報告があるに過ぎない。

ところで，コンピュータの導入と共に実験にはブラックボックスの部分が増え，直接体験としての実験科学が疎かにされることは，理科教師として多分に警戒を要することである。特に生物領域においては，その感が強く持たれてきた。

しかし，中学校で技術・家庭科情報基礎科目を履修した生徒が高校に入学する将来においては，使用を強くは求められていない生物分野においても，コンピュータを知的なツールとして利用していくことの努力をしなければならないだろう。但しその場合でも，導入に当たっては一定の条件を設ける必要がある。そのためには，①生物教師自らが，ソフトを開発したり，新たなA/Dコンバータ等の製作には加わらない。②市販の表計算ソフトなどを利用し，情報の検索や処理を行う。③色々な生物現象をリアルタイムで，かつ，手動ではできかねる計測を行うことができるものを選ぶ。等の配慮が必要である。①については，開発が可能な教師にまで無理押しをするつもりはない。②は，既にロータス1-2-3やアシストカルク等を用いたデータ処理が行われている。③は，従来の生物実験ではでき得なかった部分を補完するコンピュータならではの実験が組める可能性がある。

以上のようなことから，③に関わる実験システムを切望していたが，PC9801用インターフェイス・ボード：NADVが，これらの要求を満足させるので実験を行った。NADVに市販の酸素センサ⁵⁾を接続し，光合成で生成される酸素濃度をリアルタイムで計測を行った。まだ計測を始めたばかりなので，技術的にも多くの問題を抱えているが，かつてこのようなコンピュータを利用した生物実験の計測・解析はほとんど無いので試みとして紹介する。

II A/Dコンバータ及び酸素センサ

(1) インターフェイス・ボードNADV (新潟県統一版A/DコンバータボードVoice)^{6) 7) 8)}

これは、新潟県理化学協会コンピュータ研究グループが開発したNEC PC 9801用のインターフェイス・ボードで、次のような特徴を持っている。

- ①A/D変換速度が、2.5〔 μ s〕以下という高速変換が可能であること。
 - ②4チャンネルであること。
 - ③D/Aコンバータも積んでいること。
 - ④マイクとスピーカーを取り付けるだけで、音声の取り込み・再生が容易にできること。
 - ⑤ディップスイッチを替えるだけで未使用のアドレスバスの有効利用が可能であり、県内のその他のA/Dコンバータを同時に使用することができる余裕があること、などである。
- (NADVの回路構成、搭載されたIC、その他の仕様などについては、文献6)～8)を参照のこと。)

(2) 酸素センサ⁵⁾

日本電池社製 型式KE-25。金電極からなる酸素極を正極に、鉛電極を負極にして酸性電解液を用いる酸素-鉛電池で、一種の空気電池である。非多孔性の隔膜を通過して拡散してくる酸素が、金電極で電解還元され、酸素濃度に応じた電流が流れる。この電流を端子電圧として検出し、酸素濃度に比例した電圧変化として濃度を測定する。測定濃度範囲は、0～100体積%で、90%応答速度は約12秒である。測定可能温度は0～40℃の範囲で、比較的速い応答速度を必要とする実験に向いているが、測定精度は $\pm 1\%$ で20℃大気で約5年の耐久年数がある。この酸素センサの出力電圧は、酸素が0%の時に0mVで100%では50mVの出力があり、ほぼ比例する。

III 計 測

植物の光合成速度の定量的な測定は、赤外線ガス分析計を用いたCO₂吸収量の測定が最も正確ではあるが、高等学校では、気泡数の計算による方法やガス容量を測定する方法が一般的である。これらは、排出される気泡が純粋な酸素でないこと、ガス容量測定法ではいくつかある方法すべての操作が難しいこと、経時的に表示することができないことなどの問題がある。

橋本⁹⁾は酸素センサとインターフェイスを組み合わせてパソコンに表示させる方法を述べている。しかしこれも、酸素センサは白金電極を用いて自作すること、インターフェイスは高価な市販品であること、増幅回路図や実験データが記載されていないことなど、詳細を再現することは難しい。

最初、計測に当たって、酸素センサと接続する増幅回路を自作した(図1)。また、4チャンネル測定可能なNADVを考慮して、照度センサ、温度センサ、湿度センサの回路も自作した。

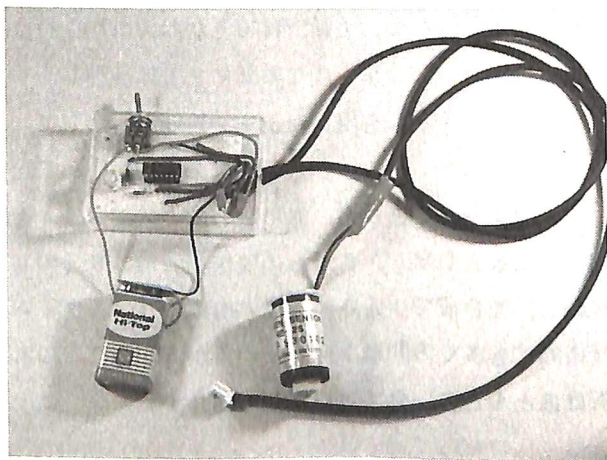


図1 酸素センサ及び増幅回路

NADVは、0～5 Vの範囲で出力可能なので、オペアンプ（図2）を利用して100倍に増幅し、酸素センサの出力は、コンピュータの拡張スロットに入れたNADVからそのまま酸素濃度の100分率表示として、コンピュータ画面上に表示させた。表示用のソフトは、N88-日本語BASIC（MS-DOS版）で作成し、1分ごとに10回測定した数値の平均値を画面に表示させた。

酸素センサ出力とコンピュータ画面表示を比例させたので、測定前の酸素センサの値

が空気中の酸素濃度を21%として画面に表示されるように可変抵抗器を調整した。測定途中で接触不良等による数値のふらつきが起こったときには、オシロスコープで出力電圧を測定して確認した。

最初は、測定用植物（プリムラ オブコニカ *Primula obconica*、シネリリア *Cineraria cruenta*）を植木鉢ごと50×35 cmの厚手のビニル袋に入れ、二酸化炭素を注入して密封し、容器内の酸素濃度を下げて計測を始めた。センサは酸素センサと照度センサの両方を入れ、照度に応じた酸素の生成量を調べようとしたが、しばらくは、順調に酸素濃度が上昇していたが光源からの熱によってビニル袋内部に相当量の水蒸気が貯留し、袋内温度も上昇したため、酸素濃度を示す数値がふらつき、計測不能になった。また、植物体から純粋な酸素が放出されたとしても、ビニル袋での容積は2 l以上あり、内部の酸素濃度が1%上昇するためには、相当多量の酸素を必要とすることになり実際的ではない。そこで、測定用植物を水生のオオカナダモ *Egeria densa*に替え、容積6 lのガラス製容器に入れることで、照明による水温上昇を防ぐことにした。容器には十分に成長したオオカナダモを30 cm程度に切断したものの20本と、炭酸イオン源として炭酸水素ナトリウムを5 g加えて水を満たした。（照度：容器壁面で1500～2000 Lx、室温25℃）。

容器の口部に酸素センサを吊るし、絶縁テープで密閉した。NADVでは、酸素濃度と温度も同時に測れるが、容器の口部が狭く両方を入れることができなかった。また、この酸素センサは水に弱いため、反応部に水滴が着かないよう100 ml程度の空所を空けた。

IV 結果と考察

おおよそ5時間に渡って連続計測した結果の内後半部分を、10分ごとに抽出して図3に表した。計測はじめには、すぐに21.2%から23.9%まで上昇し、その後は140分まではほとんど変化がない。さらに、190分目まで数値が落ち込んだが、ここで増幅回路に接触不良があり調整しなおした。以降200～280分までの80分間は、時間に比例し最終的に25.5%まで上昇した。酸素濃度の上昇が低い理由に、実験開始時から相当量の空気が残っているためであろう。

松田¹⁰⁾は、生重量68 gのオオカナダモに2時間光を照射し、水上置換で得た84 mlの気体組成を調べ、80%が酸素で20%は窒素であるとしている。今回の実験では、酸素センサを水没させないよう空気を約

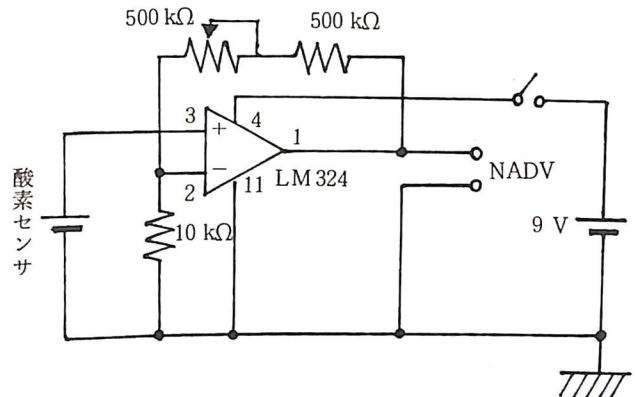


図2 100倍増幅回路図

100 ml残してあるので、酸素濃度が上がらなかった。経時的に採取した気体を計測できるシステムが必要とされる。

また、容器が完全に密閉されているので、生成される酸素によって容器内の圧力が増加し、この影響がどう現れたかは不明である。25.5%まで上昇した段階で実験を終えたが、この時絶縁テープに針を刺して圧力を減じた(図3 ↓印)直後の酸素濃度は、で25.5→25.1→24.4→24.3→24.2%と8分間で1.3%下がった。このことは、酸素センサの開口部に酸素が残留して化学変化が続いていると解釈できる。

生成する酸素量を精密な検容計¹¹⁾等で定量したり、圧力センサを併用して定量する工夫が必要だろう。

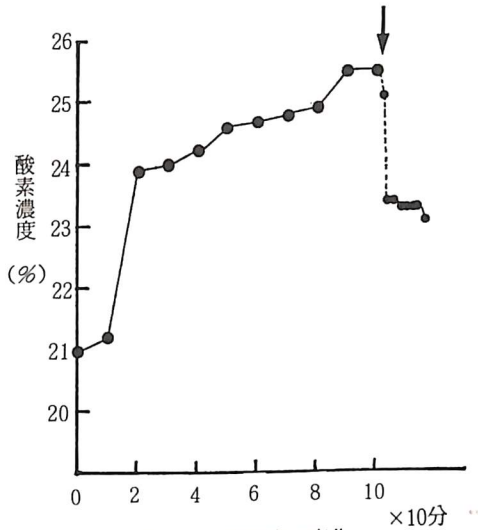


図3 酸素濃度の変化

V おわりに

生物分野へコンピュータ計測を導入する目的で、A/Dコンバータの搭載された計測ボードNADVと市販の酸素センサを組み合わせ、光合成に於ける生成酸素濃度を経時的に測定した。酸素センサを用いた試行実験のため、技術的な問題が残ったが、簡単にかつ安価に実験が可能であることがわかった。技術的な熟練や実験容器の改良等で、授業にも十分活用できる。さらに発展的には、NADVの特性を生かし、照度計と組み合わせて光合成の日変化の記録もできる。また、NADVは適当なセンサと組み合わせることで、広範な生物現象の計測に利用可能である。

最後に、NADVやセンサの技術的な協力を戴いた、当教育センター 越沢祐一指導主事、県立新潟西高等学校 本間巖教諭、画面表示ソフトを提供戴いた、当教育センター理科長期研修員 市橋勝三郎教諭に深く感謝する。

文 献

- 1) 本間 巖: KiT作成ソフト「ホルモンの学習」, 私信, 1992.
- 2) 筑波 泉: KiT作成ソフト「細胞の構造と機能Ⅲ」, 私信, 1993.
- 3) 本間 巖: 理科研究集録 第31号, 新潟県高等学校理科教育研究会理科部会, 1992, P.17-21.
- 4) 本間 巖: 新潟県立新潟西高等学校紀要 第4号, 1992, P.13-19.
- 5) 横須賀篤: 理科の教育(東洋館出版, 1992), P.840-843.
- 6) 雅楽・江川他: 理科研究集録 第30号, 新潟県高等学校理科教育研究会理科部会, 1991, P.81-84.
- 7) 五十嵐・越沢他: 同上書, 1992, P.7-12.
- 8) 竹沢攻一: 新潟県立教育センター研究報告 第137号, 1992, P.1-4.
- 9) 橋本 徹: 生物教育へのパソコンの活用(第46回日本生物教育会東京大会記念誌第3分冊), 1991, P.18-19.
- 10) 松田仁志: 生物教育(生物教育学会誌) 30(3), 1990, P.164-169.
- 11) 横浜・前川: 藻類(日本藻類学会誌) 36, 1988, P.29-36.